



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ESISELVITYS ULTRAVIOLETTI- VALOLLA HYGIENISOINNISTA TERVON JÄTEVEDENPUHDISTA- MOLLA

TEKIJÄ: Annika Huuskonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala		
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma		
Työn tekijä Annika Huuskonen		
Työn nimi Esiselvitys ultraviolettilalla hygienisoinnista Tervon jätevedenpuhdistamolla		
Päiväys 31.05.2018	Sivumäärä/Liitteet	20/4
Ohjaaja(t) yliopettaja Pasi Pajula, lehtori Teemu Räsänen		
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Tervon Kehitys Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää UV-hygienisointimenetelmän soveltuvuus ja tehokkuus Tervon jätevedenpuhdistamolla. Työn avulla saatiin selville UV-käsittelyn prosentuaalinen poistotehokkuus mikrobeille.</p> <p>Kirjallisuudessa tarkasteltiin muutamia sekä kemiallisia että fysikaalisia hygienisointimenetelmiä ja niiden hyviä ja huonoja puolia. UV-hygienisoinnin lisäksi käsiteltiin lyhyesti myös kloorauksen, kalvosuodatuksen ja otsoinnin käyttöä desinfioinnissa. Työssä määriteltiin myös lähtökohtia UV-hygienisoinnille jätevedenpuhdistuksessa. Hygienisointivelvoite jätevedenpuhdistamolle on tullut ympäristölupaan virkistyskäyttöhaitoista purkuputken läheisyydessä.</p> <p>Tämän työn tavoitteiden saavuttamiseksi jätevedenpuhdistamolla suoritettiin sameusmittauksia, lyhytaikainen UV-reaktorin koekäyttö ja siihen liittyvät mikrobimääritykset. Näiden toimenpiteiden avulla voitiin varmistua UV-hygienisoinnin toimivuudesta ja tehokkuudesta.</p> <p>Sameusmittauksista selvisi, että hygienisoitava vesi on lievästi sameaa, kaikkien sameustuloksien keskiarvoksi muodostui <math>5,92 \pm 0,3</math> FNU. Mikrobimääritys tehtiin kahdelle eri näytteelle, joista toinen otettiin ennen UV-käsittelyä ja toinen UV-käsittelyn jälkeen. Näin ollen voitiin mikrobimäärityksen avulla laskea prosentuaalinen poistotehokkuus eli kuinka monta prosenttia mikrobeista kuoli UV-käsittelyssä. Mikrobien prosentuaaliseksi poistotehokkuudeksi saatiin 84 %, kun UV-säteilyn annos oli <math>560 \text{ J/m}^2</math> ja keskimääräinen viipymä UV-reaktorissa 4,20 sekuntia. Tutkimuksen keskeisenä tuloksena voidaan todeta, että hygienisointi Tervon jätevedenpuhdistamolla voidaan toteuttaa UV-hygienisoinnilla.</p>		
Avainsanat Jätevesi, jäteveden puhdistus, UV-hygienisointi, sameus, mikrobimääritys, UV-käsittely		

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author Annika Huuskonen			
Title of Thesis Preliminary Study on Ultraviolet Light Disinfection at Tervo Wastewater Treatment Plant			
Date	31 May 2018	Pages/Appendices	20/4
Supervisor(s) Mr Pasi Pajula, Principal Lecturer and Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Tervon Kehitys Oy			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to find out the suitability and efficiency of the UV disinfection method at the Tervo wastewater treatment plant. The main objective was to figure out the percentual microbe elimination effectiveness of the UV treatment.</p> <p>A few chemical and physical disinfection methods together with their advantages and disadvantages were gone through in the literature part of the thesis. In addition to UV disinfection, chlorination, membrane filtration and ozonation were covered in general. Also the starting points for the UV disinfection were defined in the thesis. The disinfection obligation was added to the environmental license because the purified sewage has caused harm to the recreational use near the bank outfall.</p> <p>To achieve the objective of the thesis, turbidity measurements, a short-term test run with the UV reactor and microbe estimation were conducted at the Tervo wastewater treatment plant. The functionality and efficiency of the UV disinfection was ensured by means of these measures.</p> <p>The average of every result of the turbidity measurements was <math>5.92 \pm 0.3</math> FNU, so the measured water is estimated mildly turbid. The microbe estimation was done from two different water samples, which were taken before and after the UV treatment. Therefore, the amount of the microbes that died from the UV treatment, or the percentual effectiveness for microbe elimination was possible to calculate from the results of the microbe estimation. When the dose of the UV radiation was <math>560 \text{ J/m}^2</math> and the retention time in the UV reactor was set to 4.20 seconds, the UV treatment eliminated 84 % of the microbes. The mild turbidity in the treated water did not have a significant effect on the effectiveness of the UV treatment. In that case, the disinfection at the Tervo wastewater treatment plant can be executed with UV disinfection.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Sewage, sewage treatment, UV disinfection, turbidity, microbe estimation, UV treatment</p>			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	JÄTEVEDEN HYGIENISOINTI .....	6
2.1	Klooraus.....	7
2.2	Kalvosuodatus .....	8
2.3	Otsonointi.....	9
3	UV-HYGIENISOINTI .....	10
4	TERVON JÄTEVEDENPUHDISTAMO .....	12
5	UV-HYGIENISOINTI TERVON JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA .....	14
5.1	Sameusmittaukset.....	14
5.2	UV-reaktorin koekäyttö ja mikrobimääritys .....	16
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	18
	LÄHDELUETTELO.....	19
	LIITE 1: SAMEUSMITTAUSTEN TULOKSET .....	21
	LIITE 2: UV-SÄTEILYN ANNOSLASKELMA .....	22
	LIITE 3: MIKROBIMÄÄRITYS .....	24

## 1 JOHDANTO

Jätevesien puhdistus on orgaanisen aineen, ravinteiden ja nykyään myös enenevässä määrin taudinaiheuttajien poistamista vedestä rehevöitymisen estämiseksi ja hygieenisen laadun takaamiseksi. Nykyisellään yleisimmät biologiskemialliset puhdistusprosessit Suomessa poistavat 90-99,9 % mikrobeista, mutta lupaehtojen tiukentuessa tämän hetkinen jätevesien hygieeninen laatu ei tule tulevaisuudessa riittämään. Puhdistettukin jätevesi sisältää paljon erilaisia mikrobeja, kuten bakteereja, viruksia ja parasiitteja. Mikrobien tehokkaampaa poistamista voidaan kuitenkin tehdä tertiäärisen puhdistusvaiheen ja/tai hygienisoinnin avulla. (Korkeapaine-flotaatio ja peretikkahappodesinfiointi jäteveden käsittelyssä, Vesitalous 3/2005, 18.)

Jätevesien hygienisointi ei Suomessa ole vielä kovin yleistä, sillä se ei ole pakollinen toimenpide jätevedenpuhdistamoilla, mutta kehittyneissä maissa hygienisointi alkaa kuitenkin olla jo normaali käytäntö. Klooraus on yleisin hygienisointimenetelmä, mutta sen tilalle on tuotu muita vaihtoehtoja, kuten UV-hygienisointi, sillä kloorauksesta voi aiheutua haitallisia ympäristövaikutuksia. Ultraviolettivalolla hygienisointi onkin vähitellen tullut yhä suosituimmaksi, sillä se on tehokas hygienisointimenetelmä ilman haitallisia ympäristövaikutuksia. (Korkeapaine-flotaatio ja peretikkahappodesinfiointi jäteveden käsittelyssä, Vesitalous 3/2005, 19.)

Tämä opinnäytetyö keskittyy pääasiassa ultraviolettivalolla hygienisointiin ja tarkoituksena on selvittää UV-hygienisointimenetelmän soveltuvuus Tervon jätevedenpuhdistamolle. Työn tärkein tavoite on selvittää UV-hygienisointilaitteiston todellinen tehokkuus eli kuinka paljon se tappaa jätevedessä olevia mikrobeja. UV-hygienisoinnin tehokkuuden selvittämiseksi Tervon jätevedenpuhdistamolla tehdään sameusmittauksia, lyhytaikainen koekäyttö pienellä UV-reaktorilla ja mikrobimääritys vesinäytteille, jotka on otettu ennen UV-käsittelyä ja UV-käsittelyn jälkeen. Kesäaikainen hygienisointivelvoite on tullut ympäristöviranomaiselta Tervon jätevedenpuhdistamolle, sillä jäteveden purkupaikan läheisyydessä on muodostunut kesäisin virkistyskäyttöhaittoja.

## 2 JÄTEVEDEN HYGIENISOINTI

Jäteveden hygienisoinnin tarkoituksena on vähentää vesistöön purettavista puhdistetuista jätevesistä aiheutuvaa pintavesien käyttäjiin kohdistuvaa mahdollista terveyden vaarantumisen riskiä. Hygienisointi poistaa siis jätevedestä mikrobeja ja nimenomaan tauteja aiheuttavia mikrobeja, kuten kolibakteereita ja enterokokkeja. Joistakin jäteveden hygienisointimenetelmistä voi syntyä haitallisia sivutuotteita ja näissä tapauksissa tulee varmistaa, että hygienisoinnin edut ihmisten terveydelle ja ympäristön hyvinvoinnille ovat suuremmat kuin syntyvät haitat. Jäteveden hygienisointi ei ole pakollinen toimenpide jätevedenpuhdistamoilla Suomessa, vaan yleensä velvoite hygienisoinnista tulee ympäristöluvan kautta yksittäisille jätevedenpuhdistamoille. Hygienisointi on usein viimeinen vaihe jätevedenpuhdistusprosessissa ennen kuin puhdistetut jätevedet lasketaan takaisin vesistöön.

Jäteveden hygienisointimenetelmiä on useita ja ne ovat periaatteiltaan samoja menetelmiä, joita käytetään talousveden desinfiointiin vesilaitoksilla. Menetelmän valintaan vaikuttaa usein ympäristöluvasta tulleet fekaalisten enterokokkien ja kolibakteerien poistumatavoitteet. Menetelmät voidaan karkeasti jakaa kemiallisiin ja fysikaalisiin menetelmiin. Kemiallisiin menetelmiin kuuluvat kemikaalein suoritettavat hygienisointimenetelmät kuten klooraus, otsonointi ja permuraahapokäsittely. Fysikaalisia menetelmiä ovat esimerkiksi UV-hygienisointi ja kalvosuodatus. (EPA Victoria, 2002, 6.) Tässä työssä pääasiallisena tarkastelukohteena on UV-hygienisointi, mutta muitakin menetelmiä esitellään lyhyesti työn teoriaosuudessa. Fekaalisten enterokokkien ja kolibakteerien poistumatavoitteita ei ole määritetty Tervon jätevedenpuhdistamolle, mutta ELY-keskus voi tarkentaa hygienisoinnin toteutustapaa myöhemmin.

## 2.1 Klooraus

Klooraus hygienisointimenetelmänä tarkoittaa sitä, että jätevedestä tuhotaan mikrobeja kloorin avulla. Kloorin tehokkuus perustuu siihen, että kloori on voimakas hapetin. Kloorin kyky tuhota mikrobeja riippuu monesta tekijästä, kuten kloorin muodosta, lämpötilasta, viipymästä, pH:sta ja konsentraatiosta sekä vedessä olevista muista aineista. Klooraus saattaa tappaa tehokkaasti tietyissä olosuhteissa indikaattoriorganismit, mutta veteen saattaa kuitenkin jäädä aktiivisia viruksia ja alkueläimiä tai niiden kystoja. Tässä yhteydessä esitellään klooraukseen käytettävistä kemikaaleista vain natriumhypokloriitti johtuen sen hyvästä soveltuvuudesta pienille laitoksille. Muita kloorauskemikaaleja ovat muun muassa kloorikaasu, kalsiumhypokloriitti, kloramiini ja klooridioksidi. (Klooraus - tuttu ja turvallinen?, Vesitalous 4/2007, 6, 10.)

Natriumhypokloriitti on voimakkaasti hapettava ja se syövyttää heikosti metalleja ja liuottaa nahkaa, eräitä muoveja, tekstiilejä, terästä sekä betonia. Se toimitetaan laitoksille vesiliuoksena, joka sisältää natriumhypokloriittia, natriumhydroksidia ja natriumkloridia. Liuoksen aktiivisen kloorin pitoisuus vaihtelee 10-15 % välillä toimittajasta ja toimitustavasta riippuen. Liuoksessa oleva natriumhypokloriitti hajoaa vähitellen ja sen pysyvyys heikkenee pitoisuuden noustessa, pH:n laskiessa alle 11, lämpötilan noustessa, valon vaikutuksesta sekä mikäli liuoksessa on muun muassa rautaa, mangaania tai kuparia. Natriumhypokloriitin maksimivarastointiaika on noin 2-3 kuukautta. (Klooraus – tuttu ja turvallinen?, Vesitalous 4/2007, 6-7.)

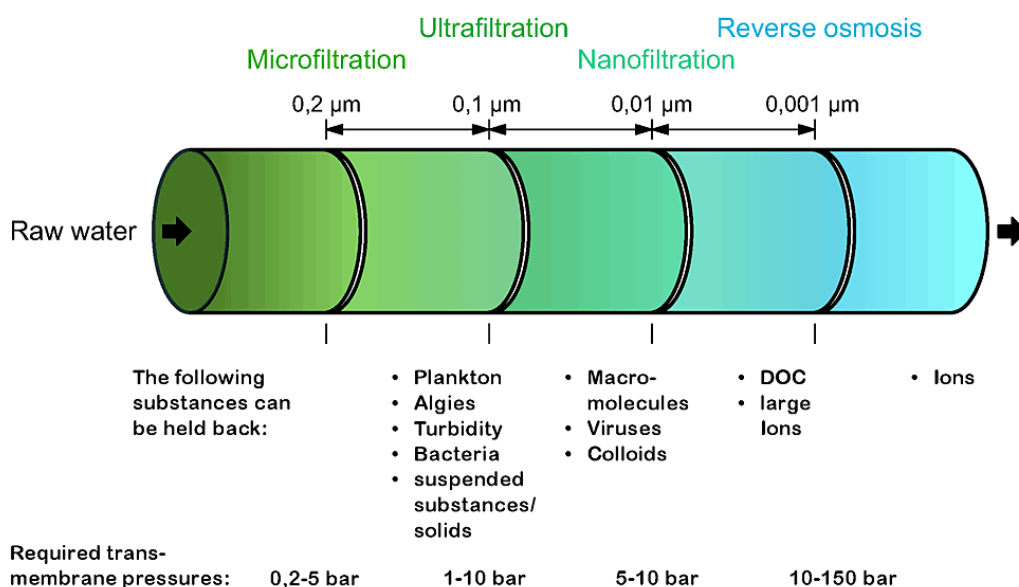
Klooraus natriumhypokloriitilla soveltuu nimenomaan pienille puhdistamoille ajoittaiseen hygienisointiin. Natriumhypokloriitin annostelu on helppoa ja sen käyttö ei vaadi tehokasta esikäsitteilyä toimiakseen. Toisaalta kloorauksesta jää klooriyhdisteiden jäämiä veteen ja se vaatii noin puolen tunnin kontaktiajan. (Jätevesien hygienisoinnin menetelmät 2010, 8-9.) Kloori ja jätevedessä olevat orgaaniset yhdisteet voivat muodostaa haitallisia organokloridijohdannaisia (EPA Victoria 2002, 7).

## 2.2 Kalvosuodatus

Kalvosuodatuksen tarkoituksena on puhdistaa jätevedessä olevat mikrobit suodattamalla ne erilaisen kalvojen läpi. Jätevettä syötetään paineella kalvon läpi, jolloin kalvo suodattaa vedessä olevat epäpuhtaudet. Kalvosuodatuksen tehokkuus riippuu kalvojen huokoskoosta ja puhdistusteho sekä vedenpaineen tarve kasvaa huokoskoon pienentyessä. Menetelmät jaotellaan poistettavan partikkelin koon mukaan, mikrosuodatukseen, ultrasuodatukseen, nanosuodatukseen ja käänteisosmoosiin. (EPA Victoria 2002, 8.) Kuvassa 1 on esitettyä eri kalvosuodatustyyppien huokoskoot, suodatukseen tarvittavat paine-erot kalvon eri puolilla ja suodatettavat epäpuhtaudet.

Tässä tapauksessa, kun kalvosuodatus olisi ainoastaan lisäpuhdistuskeino normaalin jätevedenpuhdistusprosessin lisäksi, olisi mikrosuodatus hyvä valinta. Se poistaa pienhiukkaisia ja bakteereja, mutta myös joitain viruksia, leviä ja alkueläimiä (EPA Victoria 2002, 8). Näin ollen päästäisiin eroon suurimmasta osasta haitallisista mikrobeista. Kalvosuodatus ei aiheuta prosessina lisäpäästöjä vesistöön.

Vaikka kalvosuodatus on erittäin tehokas hygienisointimenetelmä, sen kustannukset, energiankulutus ja tilan tarve ovat suuria. Kalvoja joutuu myös usein puhdistamaan ja vaihtamaan. (EPA Victoria 2002, 8.)



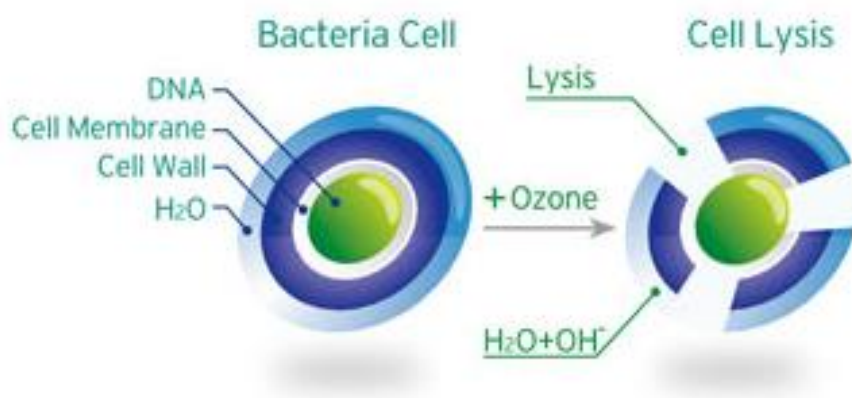
Kuva 1. Kalvosuodatuksen toimintaperiaate. (HydroGroup)



## 2.3 Otsonointi

Otsoni muodostuu kolmesta happiatomista,  $O_3$ . Se on väritön, pysymätön ja pistävänhajuinen kaasu, jota voidaan tuottaa otsonaattorilla joko sähköpurkauksen tai UV-valon avulla happimolekyyleistä ( $O_2$ ). Otsoni on voimakas hapetin ja siksi veden orgaaniset ja epäorgaaniset yhdisteet ovat alttiina otsonin hapettavalle vaikutukselle. Otsonoinnin teho perustuu sen hapettaviin ominaisuuksiin. Otsonipitoisuus laskee ilmassa ja vedessä nopeasti, koska se reagoi ympäristösssä olevien yhdisteiden kanssa. (Otsonointi ja siihen perustuvat talousveden käsittelytekniikat, Vesitalous 4/2007, 13.)

Otsonointi tuhoaa tehokkaasti bakteereja, viruksia ja alkueläimiä vedestä eikä sen tehokkuus kärsi suurestakaan pH:n tai lämpötilan vaihtelusta. Se poistaa tehokkaasti myös maku-, väri- ja hajuhaittoja eikä prosessista synny haitallisia sivutuotteita. Otsonointilaitteet ovat kuitenkin kohtuullisen kalliita kertainvestointina ja ne kuluttavat merkittävän paljon sähköä, joten käyttökustannuksetkin ovat korkeat. (Oram, 2014.) Kuvassa 2 on esitettyä otsonin reaktio bakteerin kanssa. Bakteeri kuolee otsonin hapettaessa sen pintarakenteita.

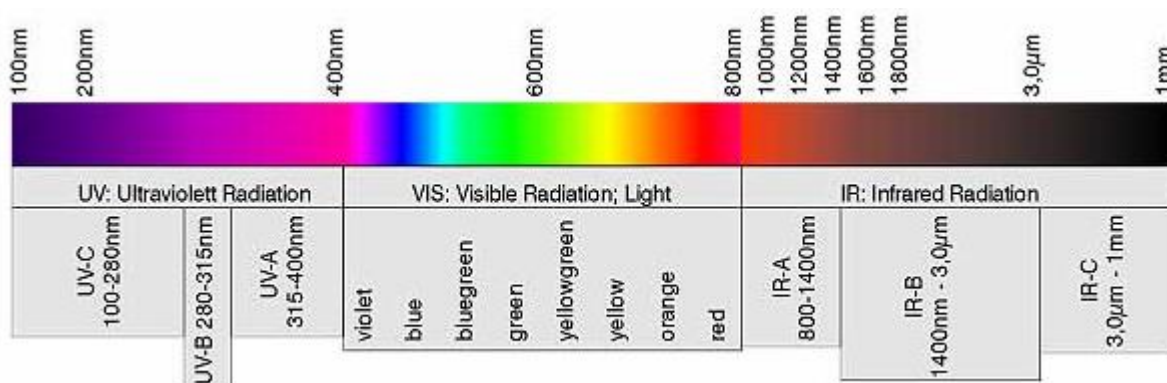


Kuva 2. Otsonin vaikutus bakteeriin. (Biotek Ozone)

### 3 UV-HYGIENISOINTI

UV-hygienisoinnilla tarkoitetaan jätevedessä olevien mikrobien tuhoamista UV-valoa hyödyntämällä. Sen teho perustuu siihen, että ultraviolettisäteily tuhoaa solun lisääntymiskyvyn vaurioittamalla solun DNA-molekyylin rakennetta. UV-hygienisoinnilla saadaan tuhottua tehokkaasti bakteereja, viruksia ja alkueläimiä ilman haittavaikutuksia eli siitä ei aiheudu veteen laatu-, maku- tai hajuhaittoja eikä haitallisia sivutuotteita. Hygienisoitavan veden laatu, UV-annos, UV-transmittanssi eli läpäisevyys ja UV-säteilyn altistumisaika vaikuttavat UV-hygienisoinnin tehokkuuteen. Hygienisoinnissa käytettävä ultraviolettisäteily tuotetaan joko matala- tai keskipainelampuilla. (EPA, 1999, 1.)

Ultraviolettisäteily eli UV-säteily muodostaa yhdessä näkyvän valon ja infrapunasäteilyn eli IR-säteilyn kanssa optisen säteilyn. Optinen säteily kattaa siis sen sähkömagneettisen spektrin osa-alueen, jossa aallonpituudet ovat väliltä 100 nm – 1 mm. UV-säteilyllä on pienimmät aallonpituudet (100 - 400 nm), seuraavana tulee näkyvä valo (400 - 780 nm) ja suurimmat aallonpituudet ovat IR-säteilyllä (780 nm - 1 mm). (Ultravioletti- ja lasersäteily, 2009, 12-13.) Kuvassa 3 esitetään optisen säteilyn spektri.



Kuva 3. Optisen säteilyn spektri (Gigahertz-Optik)

UV-säteily on jaettu edelleen kolmeen alaryhmään: lyhytaaltoiseen UV-C-säteilyyn (100-280 nm), keskiaallonpituudet käsittävään UV-B-säteilyyn (280-315 nm) ja pitkäaaltoiseen UV-A-säteilyyn (315-400 nm). Näistä kolmesta UV-säteilyn alaryhmästä ainoastaan UV-C-säteily on soveltuva käytettäväksi desinfiointi- ja hygienisointitarkoitukseen. UV-säteilyn aallonpituuden ollessa lähellä DNA:n maksimiabsorptioaallonpituusalueetta (260-265 nm), mikrobit absorboivat parhaiten UV-valoa ja tuhoutuvat UV-säteilyn vaikutuksesta. Ultraviolettisäteilyä voidaan tuottaa matala- ja korkeapainelampuilla. Lampputyypin valinta tehdään käyttötarkoituksen mukaan. Yleensä desinfioinnissa käytetään matalapaineisia UV-C-elohopealamppeja, koska näiden lamppujen säteilyenergiasta emittoituu yli 90 prosenttia 254 nanometrin aallonpituudella. UV-hygienisointiin voidaan käyttää myös keskipainelamppua, jonka säteilemä spektri jakautuu välille 185–600 nm, suurimman säteilypiikin osuessa aallonpituudelle 365 nm. Näissä elohopealampuissa käytetään kvartsilasia lasimateriaalina, koska se läpäisee tehokkaasti lyhytaaltoista UV-C- ja UV-B-säteilyä. (Ultraviolettisäteily- ja lasersäteily, 2009, 144, 226, 228, 233.)

Kvartsiputket on täytetty reagoimattomalla kaasulla ja pienellä määrällä elohopeaa. Säteily saadaan aikaan lampussa ionisoimalla elohopeahöyry sähkövirralla. Lamppujen jaottelu tehdään kaasupaineen mukaan, suuremman kaasupaineen omaava lamppu tuottaa enemmän säteilyä ja niiden sähköntarvekin on suurempi. (Veden desinfiointi UV-valolla, 2018.) Jäteveden hygienisoinnissa laitteistot yleensä sijoitetaan jätevesikanaviin ja ne ovat avoimia järjestelmiä, kun taas talousveden desinfioinnissa käytetään suljettuja reaktorijärjestelmiä. Jätevesipuolella on myös mahdollista toteuttaa hygienisointi suljetulla reaktorijärjestelmällä, jos virtaukset ovat pieniä. (UV-desinfiointi, 2017.)

Ultraviolettisäteily vaurioittaa solujen DNA-molekyylejä, jolloin niiden lisääntymiskyky estyy. UV-säteily häiritsee myös mikrobin elintoimintoja, sillä mikro-organismien proteiinit ja entsyymit absorboivat UV-säteilyä, jolloin niiden rakenne muuttuu. UV-valolla ei kuitenkaan ole vaikutusta mikrobeihin ellei hygienisointiin käytettävä annos ole riittävän suuri. UV-annoksen yksikkö on  $\text{J/m}^2$  ja annos muodostuu valon intensiteetin  $I$  [ $\text{W/m}^2$ ] ja vaikutusajan  $t$  [s] tulosta. Annos voidaan määrittää useilla eri tavoilla, mutta biodosimetristä testiä pidetään parhaana mittaustapana. Siinä syötetään testimikrobeja käytössä olevaan laitteeseen ja tutkitaan, mikä osuus niistä selviää käsittelystä. Biodosimetrisen testin koetulos liittyy aina käytettyyn virtaamaan ja vedenlaatuun. Laskennallisesti on mahdollista määrittää keskimääräinen annos. (Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla, Vesitalous 1/2003, 11.)

#### 4 TERVON JÄTEVEDENPUHDISTAMO

Tervon jätevedenpuhdistamo sijaitsee Tervon kunnassa noin 800 metriä kunnan keskustaajaman lounaispuolella. Nykyinen jätevedenpuhdistamo on valmistunut vuonna 1996 ja sitä on saneerattu vuosina 2004-2006. Puhdistamo on mitoitettu asukasvastineluvultaan 1070 henkilölle ja viime vuosina kuormitus on vastannut 550-800 henkilön jätevesikuormitusta. Tervon jätevedenpuhdistamolla käsitellään sekä Tervon kirkonkylän ja Äyskosken asumajätevesiä että haja-asutusalueen sako- ja umpikaivolietteitä. Puhdistetut jätevedet lasketaan purkuojan kautta Rasvanki-järven Pienilahteen. (Ympäristölupa 2015, 1,3)

Tyypiltään puhdistamo on biologiskemiallinen kaksilinjainen aktiivilietelaitos, jossa fosforia poistetaan rinnakkaissaostuksella. Hydraulinen puristin kuivattaa välpejätteen, mikä kuljetetaan kaatopaikalla. Esikäsitelty jätevesi johdetaan ilmastusaltaaseen, jonka jälkeen se menee jälkiselkeytysaltaaseen. Selkeytyksestä vesi johdetaan vielä kahteen jälkiselkeytysaltaaseen, jotka sijaitsevat puhdistamon pihamaalla. Ensimmäinen näistä ulkona olevista altaista on pressupohjainen kaksiosainen allas. Jälkimmäinen ulkoaltaista on maapohjainen ja sieltä selkeytetty vesi johdetaan kolmiomittauspadon kautta 130 metriä pitkää purkuputkea pitkin avo-ojaan, joka laskee edelleen Pienilahteen. Pihamaalla sijaitsevista jälkiselkeytysaltaista poistetaan lietettä joko pumppaamalla tai kaivinkoneella. (Ympäristölupa 2015, 3-4)

Saostuskemikaaleina käytetään ferrosulfaattia ja alumiinisulfaattia, joiden lisäksi selkeytystä tehostetaan polymeerillä. Ylijäämälietettä muodostuu noin 15 m<sup>3</sup>/vrk. Lieite pumpataan sakeuttamoon, josta kirkaste palautetaan prosessiin. Sakeuttamossa lietteeseen lisätään kalkkia pH:n nostamiseksi. Sakeuttamosta lieite pumpataan puristimeen, jonne lisätään myös polymeeriä. Puristettu lieite viedään Vesannon kunnan jätevedenpuhdistamolle kompostoitavaksi. (ympäristölupa 2015, 3-4) Ympäristöluvan mukaiset raja-arvot puhdistetulle jätevedelle on esitettyinä taulukossa 1.

Taulukko 1. Ympäristöluvan mukaiset raja-arvot puhdistetulle jätevedelle. (Ympäristölupa 2015, 15)

BOD <sub>7</sub> -ATU	13 mg O <sub>2</sub> /l, puhdistusteho vähintään 90 %
kokonaisfosforipitoisuus	0,5 mg/l, puhdistusteho vähintään 90 %
COD <sub>Cr</sub>	125 mg O <sub>2</sub> /l, puhdistusteho vähintään 75 %
kiintoainepitoisuus	35 mg/l, puhdistusteho vähintään 90 %

Lupaviranomainen on perustellut hygienisointivelvollisuutta uudessa ympäristöluvassa seuraavasti: "Pienilahden pohjukassa tilanteessa, jossa virtaus on heikkoa eikä tuuli sekoita vettä, saattaa jäteveden konsentroituminen purkupaikan läheisyydessä olla merkittävää ja kesäaikana vaikuttaa veden laatuun. Koska Pienlahti on kesäaikana virkistyskäytössä, jäteveden hygienisoinnilla vähennetään jätevesistä vesistön käytölle aiheutuvia haittoja.

Koska hakemukseen ei sisälly esitystä hygienisoinnin toteutuksesta, on luvassa määrätty luvan saaja laatimaan siitä esitys ja toimittamaan se Pohjois-Savon ELY-keskukselle, joka voi tarvittaessa tarkentaa hygienisoinnin toteutuksen yksityiskohtia”

Luvan saaja on luvan mukaisesti laatinut esityksen UV-hygienisoinnista ja Pohjois-Savon ELY-keskus on hyväksynyt suunnitelman. ELY-keskuksella ei ole ollut tarvetta tarkentaa hygienisoinnin toteutuksen yksityiskohtia eli esimerkiksi hygienisoinnilla saavutettavaa fekaalisten enterokokkien ja koliformisten bakteerien poistumatavoitteita ei ole annettu.

## 5 UV-HYGIENISOINTI TERVON JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA

### 5.1 Sameusmittaukset

Veden sameus määrittyy pitkälti siitä, miten paljon se sisältää suspendoitunutta kiintoainesta eli sameus muodostuu muun muassa vedessä olevasta maa-aines-, humus-, siitepöly- ja planktonleväaineksista. Liettyneen aineen pitoisuus ja hiukkaskoko vaikuttavat sameuden voimakkuuteen. Sameus onkin merkittävä veden laadusta kertova ominaisuus. Tyypillisesti sameus määritetään suuntaamalla valoa nesteeseen ja mittaamalla valon määrää, joka on siroontunut nesteessä olevista hiukkasista. Tätä menetelmää kutsutaan nefelometriseksi mittaukseksi. Sameutta voidaan myös mitata gravimetrisesti ja turbidometrisesti. (YSI, 2017, 97)

Tähän opinnäytetyöhön liittyen sameusmittaukset olivat erittäin tärkeä osa työtä, sillä sameudella on todella suuri merkitys UV-säteilyn läpäisevyyteen. Sameusmittausten ohella UV-reaktorin koekäyttökohteessa antaa parhaan käsityksen sameuden vaikutuksesta hygienisoinnin tehokkuuteen tarkasteltavassa tilanteessa. Sameusmittaukset suoritettiin YSI EXO2-mittauslaitteella. Mittauslaitteen sameussensori mittaa sameuden nefelometrisesti ja yksikkönä on FNU (Formazin Nephelometric Unit). Taulukossa 2 käytetyn sameussensorin teknisiä tietoja.

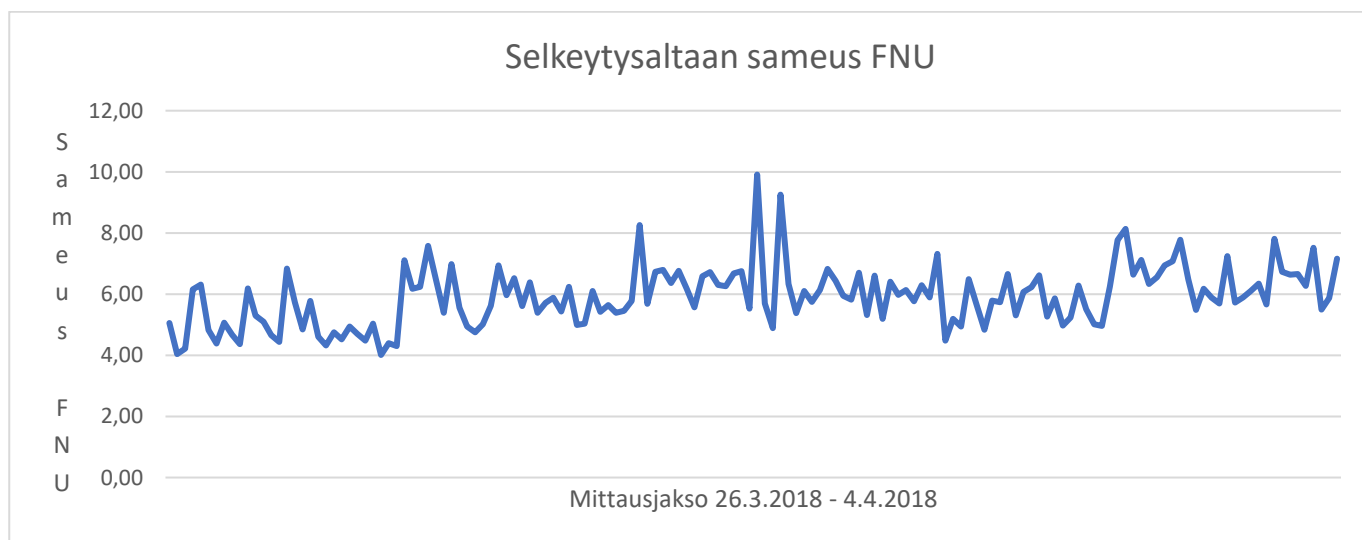
UV-hygienisoinnin kannalta on parempi, että suuria hiukkasia ei vedessä ole, sillä kiintoainehiukkasten pinnoille kiinnittyneet mikrobit pysyvät tällöin suojassa UV-säteilyltä. UV-säteet eivät pysty läpäisemään kiintoainehiukkasia. Sameudella voi olla myös heikentävä vaikutus UV-intensiteettiin, sillä kiintoainehiukkaset kertyvät kvartsisuoja-putkien pinnoille ellei UV-laitteistoa ole varustettu automaattipyyhkijöillä, jotka puhdistavat jatkuvasti putkien pintoja. (Moilanen 2014, 37-38)

Taulukko 2. Sameussensorin tekniset tiedot (YSI, 2017, 97)

Default Units	FNU
Temperature	
Operating	-5 to +50°C
Storage	-20 to +80°C
Range	0 to 4000 FNU
Accuracy	0-999 FNU: 0.3 FNU or $\pm 2\%$ of reading, whichever is greater; 1000-4000 FNU: $\pm 5\%$ of reading <sup>2</sup>
Response	T63 < 2 sec
Resolution	0-999 FNU: 0.01 FNU 1000-4000 FNU: 0.1 FNU
Sensor Type	Optical, 90° scatter
Optics:	
Excitation	860 $\pm$ 15 nm

Mittauksia otettiin 10 päivän ajan, jolloin saumetta mitattiin päivittäin 15 minuutin ajan eli 15 mitausta päivässä, sillä laite teki mittauksen aina yhden minuutin välein. Ennen mittauksia laite kalibroitiin sekä tislatulla vedellä (0 FNU) että kalibrointineesteellä (20 FNU). Mittaukset otettiin selkeytysaltaasta noin 10 sentin syvyydestä, jolloin pintalietteellä ei ollut vaikutusta tuloksiin. Kaiken varalta pintaliete kuitenkin huuhdeltiin ennen mittauksia.

Mittausten tulokset vaihtelivat välillä 4-10 FNU ja kaikkien tuloksien keskiarvoksi muodostui  $5,92 \pm 0,3$  FNU. Kaaviossa 1 esitettynä sameusmittausten tuloksien vaihtelu mittausjaksojen aikana. Selkeytysaltaan vesi on siis lievästi sameaa, mutta tasalaatuista eli vedessä ei havaittu erityisen suuria hiukkasia, joten UV-käsittelyn tehokkuudessakaan ei tulla näkemään suurta vaihtelua. Vedessä olevat mikrobit eivät pääse piiloutumaan hiukkasten pinnoille, joten mikrobit altistuvat hyvin UV-säteilylle. Kaikki sameusmittaustulokset esitetään tarkemmin liitteessä 1.



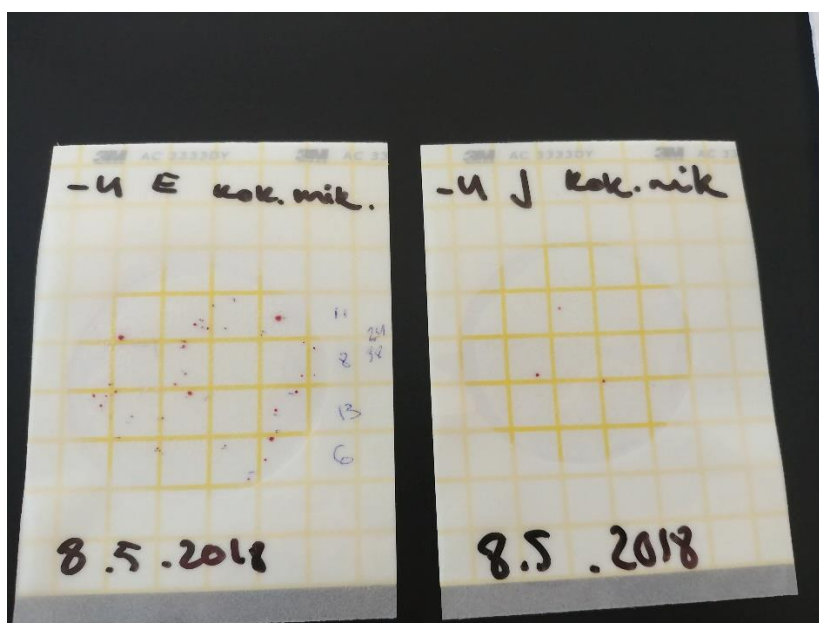
Kaavio 1. Sameusmittausten tuloksien vaihtelu

## 5.2 UV-reaktorin koekäyttö ja mikrobimääritys

UV-hygienisointimenetelmän todellisen tehokkuuden selvittämiseksi tehtiin Tervon jätevedenpuhdistamolla UV-reaktorin koekäyttö ja siihen liittyvät mikrobimääritykset. Koekäyttö tehtiin UV-reaktorilla (J. Mortensen & CO. LTD), jossa oli matalapaineinen UV-lamppu (Sankyo-Denki G6T5). Kokeessa käytetty UV-säteilyn annos oli  $560 \text{ J/m}^2$ . UV-säteilyn annoslaskelma esitettynä liitteessä 2. Mikrobimääritys tehtiin soveltaen Juha-Matti Aallon laboratorio-ohjeistusta Vesinäytteen mikrobimääritys. (Aalto 2018, 3-5).

Käsiteltävä vesi pumpattiin pilssipumpulla (TMC 500 GPH) selkeytysaltaasta noin 20 sentin syvyydestä, jolloin selkeytysaltaan pintaliete ei sekoittunut pumpattavan veden kanssa. Pumpattu vesi kulki rotametrin (Kytölä Instruments VEK-3HA-D) kautta UV-reaktoriin ja UV-käsitelty vesi laskettiin takaisin selkeytysaltaaseen.

Mikrobimäärityksessä tarvittavat vesinäytteet otettiin UV-reaktorin tulevasta vedestä ja sieltä poistuvasta vedestä. Ensimmäinen näyte otettiin rotametrin ja UV-reaktorin välisestä putkesta ja toinen näyte UV-reaktorin poistoputkesta. Molemmista näytteistä tehtiin laimennossarjat ja jokaisesta laimennoksesta tehtiin kasvatukset Petrifilm Aerobic count plates-alustoille. Tässä mikrobimäärityksessä määritettiin heterotrofisia eli aerobisia mikrobeja. Petrifilm-alustoja inkuboitiin huoneenlämmössä 7 vuorokauden ajan, jonka jälkeen voitiin laskea pesäkkeet alustoilta ja määrittää heterotrofisten mikrobien kokonaismäärä. Mikrobien kokonaismäärien avulla saatiin laskettua myös prosentuaalinen poistotehokkuus. UV-käsittelyn vaikutus mikrobimääriin esitetään kuvassa 5.



Kuva 5. Heterotrofisia mikrobeja kasvatusalustoilla (Huuskonen 2018.)

Heterotrofisten mikrobien kokonaismäärä UV-käsittelemättömästä selkeytetystä jätevedestä oli  $5,15 \cdot 10^4$  kpl/ml ja UV-käsittelyn jälkeen kokonaismäärä oli  $8,02 \cdot 10^3$  kpl/ml. UV-hygienisointi siis



poisti noin 84 % heterotrofisista mikrobeista UV-säteilyn annoksen ollessa  $560 \text{ J/m}^2$ , kun veden virtaus oli säädetty 2,0 litraan minuutissa ja veden viipymä reaktorissa oli 4,20 sekuntia. Puhdistustulos on hyvä ottaen huomioon se tosiseikka, että hygienisoitava vesi oli lievästi sameaa. Tulosta olisi ollut mahdollista saada paremmaksi hidastamalla virtausta, jolloin veden viipymä reaktorissa olisi suurentunut ja tällöin myös UV-säteilyn annos olisi kasvanut. UV-reaktoria ei oltu varustettu pyyhkijöillä, mutta sen koekäyttö oli niin lyhytaikainen, että suojaputkien pinnoille ei ehtinyt muodostua kiinto-hiukkaskertymää koekäytön aikana. Voidaan kuitenkin todeta UV-reaktorin koekäytön jälkeen, että UV-hygienisointi soveltuu Tervon jätevedenpuhdistamolle ja saavutettu puhdistusteho on riittävä. Mikrobimäärityksen tulokset esitetään liitteessä 3.

## 6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Hygienisointivelvoitteen tullessa Tervon jätevedenpuhdistamolle menetelmäksi päätettiin valita UV-käsittely, sillä UV-säteilytys on todettu Tervossa tehokkaaksi tavaksi poistaa mikrobeja vedestä jo talousvesipuolella. Tuli kuitenkin varmistaa, että UV-hygienisointimenetelmä varmasti soveltuu Tervon jätevedenpuhdistamolle, sillä jäteveden ominaisuudet ja laitteiston mitoitusarvot vaikuttavat merkittävästi UV-käsittelyn tehokkuuteen. Näitä UV-käsittelyyn vaikuttavia asioita ovat hygienisoitavan veden laatu, UV-säteilyn annos, käsiteltävän veden UV-transmittanssi eli läpäisevyys ja veden viipymä UV-reaktorissa. Tervon jätevedenpuhdistamolla suoritettiin sameusmittauksia ja UV-reaktorin koekäyttö ja siihen liittyvät mikrobimääritykset, joiden tuloksena saatiin selville UV-hygienisoinnin soveltuvuus ja todellinen tehokkuus kohteessa.

Sameusmittauksia tehtiin YSI EXO2-mittauslaitteella selkeytysaltaasta kymmenen päivän ajan. Kaikkien tuloksien keskiarvoksi muodostui  $5,92 \pm 0,3$  FNU. Tässä vaiheessa ei voitu kuitenkaan olla täysin varmoja siitä, että sisältääkö hygienisoitava vesi liikaa liettynyttä kiintoainesta UV-hygienisoinnin kannalta. Tämän vuoksi tutkimuksia jatkettiin UV-säteilytyskokeilla, joissa tutkittiin mikrobien poistumaa tietyllä säteilyannoksella selkeytetystä jätevedestä. UV-reaktoriin pumpattiin vettä selkeytysaltaasta virtauksen ollessa 2,0 litraa minuutissa. UV-säteilyannoksena oli  $560 \text{ J/m}^2$ , kun veden viipymä reaktorissa säädettiin arvoon 4,20 sekuntia. Näytteet mikrobimääritystä varten otettiin ennen UV-käsittelyä ja sen jälkeen. Mikrobimäärityksen avulla voitiin laskea prosentuaalinen poistotehokkuus heterotrofisille mikrobeille. Tämä poistotehokkuus oli 84 %.

Voidaan siis todeta, että UV-käsittely hygienisointimenetelmänä soveltuu hyvin Tervon jätevedenpuhdistamolle. Vaikka hygienisoitava vesi olikin lievästi sameaa, ei sillä ollut UV-hygienisointiin merkittävää vaikutusta, sillä puhdistusteho oli hyvä. Varsinainen jätevedenpuhdistamolle tuleva UV-laitteisto tulee olemaan koekäytössä ollut UV-reaktoria tehokkaampi, koska siinä UV-lamppuja on useampi ja UV-säteilyn annos ja viipymä ovat suurempi.

## LÄHDELUETTELO

AALTO Juha-Matti. 2018. Vesinäytteen mikrobimääritys. Kuopio

ALUEHALLINTOVIRASTO. Tervon kunnan jäteveddenpuhdistamon ympäristöluvan lupamääräysten tarkistaminen. 2015. [viitattu 2018-02-14.]

AQUATOR. Veden desinfiointi UV-valolla. 2018. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2018-05-27.] Saatavissa: <http://www.aquator.fi/vedenkasittely/uv-desinfiointi>

BIOTEK OZONE. Benefits of Ozone. 2018. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2018-05-14.] Saatavissa: <http://www.biotek-ozone.com/technology.html>

EPA VICTORIA. Disinfection of treated wastewater [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-01]. Saatavissa: <http://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/730.pdf>

EPA. Wastewater, Technology Fact Sheet, Ultraviolet Disinfection [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-19.] Saatavissa: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/uv.pdf>

FILTERIT. UV-desinfiointi. 2017. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2018-05-27.] Saatavissa: <https://filterit.fi/tuote-osasto/uv-desinfiointi/>

GIGAHERTZ-OPTIK. The wavelength range of optical radiation. 2016. [Verkkojulkaisu]. [viitattu 2018-03-22.] Saatavissa: <https://light-measurement.com/wavelength-range/>

HUUSKONEN, Annika 2018. Heterotrofisia mikrobeja kasvatusalustoilla [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän älypuhelimien valokuva-albumi 2018.

HYDROGROUP. Membrane technology. 2012. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2018-05-12.] Saatavissa: <https://www.hydrogroup.biz/fileadmin/redakteur/pdf/product-manual/membrane-technology-fundamentals-processes-r3i1-en.pdf>

MOILANEN, Karoliina 2014. Käsitellyn yhdyskuntajäteveden hygienisointi. Tampereen Teknillinen yliopisto. Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö [viitattu 2018-05-26]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22759/moilanen.pdf;jsessionid=3AAFC2C4E7911633F57C1BE289C616EC?sequence=1>

NIEMELÄ Ari. Jätevesien hygienisoinnin menetelmät [verkkoaineisto]. 2010 [viitattu 2018-02-19.] Saatavissa: [http://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Niemela\\_JVdesinfiointi.pdf](http://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Niemela_JVdesinfiointi.pdf)

ORAM Brian. Ozonation in Water Treatment [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-12.] Saatavissa: <https://www.water-research.net/index.php/ozonation>

SÄTEILYTURVAKESKUS. 2009. Ultravioletti- ja lasersäteily. Helsinki

VESITALOUS 1/2003. Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla. [digilehti]. [Viitattu 2018-04-26.]

Saatavissa: [http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2013/07/1\\_2003.pdf](http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2013/07/1_2003.pdf)

VESITALOUS 3/2005. Korkeapaine-flotaatio ja peretikkahappodesinfiointi jäteveden käsittelyssä. [digilehti]. [viitattu 2018-05-14.] Saatavissa: <https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/02/3-2005.pdf>

VESITALOUS 4/2007. Klooraus – tuttu ja turvallinen?. [digilehti]. [viitattu 2018-02-19.] Saatavissa: <https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/02/4-2007.pdf>

YSI. EXO User Manual [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-09.] Saatavissa:

<https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/EXO-User-Manual-Web.pdf>

## LIITE 1: SAMEUSMITTAUSTEN TULOKSET

## Sameusmittaukset YSI EX02

[illegible]

## LIITE 2: UV-SÄTEILYN ANNOSLASKELMA

### UV-säteilyn keskimääräinen intensiteetti

$$I = I_0 * \frac{1 - e^{-a * L}}{a * L}$$

jossa

$I_0$  = UV-säteilyn intensiteetti kvartsiputken pinnalla (=13,9 mW/cm<sup>2</sup>)

$a$  = veden absorbanssi aallonpituudella 254 nm (=0,110)

$L$  = kvartsiputken ja reaktorin seinämän välinen etäisyys (=0,85 cm)

### Tarvittava viipymäaika (t (s)) reaktorissa

$$D = I * t$$

jossa

$D$  = haluttu UV-annos

$T$  = veden altistumisaika reaktorissa (s)

### Tarvittava virtaama reaktorissa

$$Q = \frac{V}{t}$$

jossa

$Q$  = virtaama (2,5 l/min = 41,67 ml/s)

$V$  = reaktorin tilavuus (ml) (=140 ml)

$t$  = aika (s)

### Haluttiin selvittää näistä $D$

Ensin muokattiin kaava "tarvittava virtaama reaktorissa" -kaava muotoon, jolloin saatiin laskettua altistusaika:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Sijoitettiin luvut:

$$t = \frac{140 \text{ ml}}{33,333 \text{ ml/s}} = 4,20 \text{ s}$$

**Laskettiin intensiteetti I sijoittamalla luvut kaavaan "keskimääräinen intensiteetti":**

$$I = 13,9 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} * \left( \frac{1 - e^{-0,110 * 0,85 \text{ cm}}}{0,110 * 0,85 \text{ cm}} \right) = 13,27 \text{ mW s/cm}^2$$

**Laskettiin D kaavalla "tarvittava viipymäaika reaktorissa" muokkaamalla kaava muotoon**

$$D = I * t$$

Sijoitettiin luvut:

$$D = 13,27 \frac{\text{mW s}}{\text{cm}^2} * 4,20 \text{ s} = 55,734 \frac{\text{mW s}}{\text{cm}^2} \approx 56 \frac{\text{mJ}}{\text{cm}^2} = 560 \text{ J/m}^2$$

**UV-säteilyn annos 560 J/m<sup>2</sup>**

## LIITE 3: MIKROBIMÄÄRITYS

## Mikrobimääritys 08.05.2018

	laimennos	-2	-4	-6	-8
Ennen UV-reaktoria	pesäkeluku	482	38	0	0
UV-reaktorin jälkeen	pesäkeluku	77	4	0	0

Mikrobien määrä näytteessä lasketaan seuraavalla tavalla:

$$\frac{kpl}{ml} = \frac{laskettujen pesäkkeiden summa}{vastaavien näytemäärien summa}$$

Mikrobien kokonaismäärä ennen UV-reaktoria

$$\frac{482 + 38}{0,01 + 0,0001} = 5,15 * 10^4 \text{ kpl/ml}$$

Mikrobien kokonaismäärä UV-reaktorin jälkeen

$$\frac{77 + 4}{0,01 + 0,0001} = 8,02 * 10^3 \text{ kpl/ml}$$

Mikrobien määrän prosentuaalinen lasku

$$\frac{5,15 * 10^4 - 8,02 * 10^3}{5,15 * 10^4} * 100 = 84,4 \%$$